

XVII. BÁNYÁSZATI, KOHÁSZATI ÉS FÖLDTANI KONFERENCIA



17th MINING,
METALLURGY
AND GEOLOGY
CONFERENCE

DÉVA, 2015. MÁRCIUS 26–29.
DEVA, MARCH 26–29, 2015

Kiadó / Publisher

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT
Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania

A plenáris és tudománytörténeti cikkeket WANEK Ferenc lektorálta.

A földtani cikkeket MÁRTON István, SILYE Lóránd
és KOVÁCS Alpár lektorálta.

Plenary and history of science papers were veted by Ferenc WANEK.
The geological articles were veted by István MÁRTON, Lóránd SILYE and Alpár KOVÁCS.

A bányászati és kohászati cikkeket Dr. GAGYI PÁLFFY András lektorálta.

Papers in mining and metallurgy were veted by Dr. András GAGYI PÁLFFY.

Nyomdai előkészítés / Desktop publishing

PROKOP Zoltán

Nyomda / Print

INCITATO, Kolozsvár / Cluj

Támogató / Sponsor



Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt. – Budapest

ISSN 1842-9440

Rétegkezelések jelentősége geotermikus kutak esetén

Importance of Stimulation Treatments in Matter of Geothermal Wells

JOBBIK Anita¹, BÓDI Tibor²

¹ME AFKI, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport
3515 Miskolc-Egyetemváros, Pf.:2. jobbik@afki.hu

²ME AFKI, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Pf.:2., bodit@afki.hu

Abstract

The paper will review the geothermal capability of Hungary, theoretical and practical aspects of HC- reusing in reference to depth, well-structure, pressure and temperature. Presents type of formation damages formed during drilling, well completion and under operation with analogies and special cases such as plugging, invasion, deposition. Also will discuss available stimulation techniques for removing damages in oil industry and applications to geothermal wells.

Keywords: geotermia, rétegtörés, rétegtörés, mátrix-savazás

1. Bevezetés

A szénhidrogén bányászathoz kapcsolódóan számos meddő illetve használaton kívüli szénhidrogén kút található az országban, melyeknél indokolt a geotermikus hasznosíthatóság vizsgálata, hiszen amennyiben ezek a kutak nem hasznosíthatók más célra, végül felszámolásra kell, hogy kerüljenek. A kutak geotermikus célú hasznosíthatóságának, önmagában a kút hőmérséklet-viszonyai esetlegesen jelentősebb vízáadó rétegek jelenléte még nem elegendő feltételei. Számos hasonlóság mellett az eltérő fluidum tulajdonságok, kútszerkezet, üzemeltetési feltételek stb. sokszor korlátozzák vagy akadályozzák a használaton kívüli szénhidrogén kutak geotermikus célú hasznosítást. A szénhidrogén termelésre alkalmatlan vagy már nem hasznosítható kutak, alkalmasak lehetnek geotermikus energiára, vagy geotermikus energiatermelő rendszer részét képező egyéb kúttá (visszasajtoló, monitoring, technológiaivíz-nyerő stb.) való átalakításra. Ennek előzetes megítélése céljából célszerű a kutak jellemzőit és helyzetét elemezni többek között a kútmélység, a nyomás- és a hőmérséklet viszonyok, a kút geometriája tekintetében. A hasznosítás lehetőségeit alapvetően határozza meg, hogy az üzemeltetés során milyen kihívásokkal, problémákkal szembesül a hasznosító és hogy ezek a problémák milyen módon oldhatók meg, rendelkezésre állnak-e a megfelelő technológiák és eszközök?

A magyarországi szénhidrogén kutatás és termelés, tevékenységéből adódóan, széleskörű információkkal és adatbázisokkal illetve számos olyan tapasztalattal rendelkezik, amelyek a geotermikus energia kinyerése szempontjából közvetlenül hasznosíthatók. Ilyenek például a földtani és vízföldtani adatok, rezervoármechanikai, fúrási, kútkiképzési, kútjavítási és termelésteknológia tapasztalatok.

A magyarországi fő mélységi regionális hévíztároló nagyrendszerek alapvetően két típusba sorozhatók a Felső-pannon egész magyar medencére kiterjedő rétegzett típusú, többszintes, soktelepes homokkő és homok sorozata, valamint a mezozoikum repedezett, hasadékos, részben karsztosodott mészkő és dolomit tároló összletei.

A Felső-pannon rétegsor alsó zónájában a homokkő, homokkő csoportok vastagabb, nagy kiterjedésű önálló hidrodinamikai rendszereket alkotnak. A rétegsor felső zónájában a homokkőveket általában a kisebb rétegvastagság, a szeszélyes kifejlődés, gyors kiékelődés vagy a rétegek összehasadása jellemzi. Az egyes rétegek horizontális és vertikális irányokban egyaránt az egymással való kommunikációk közvetlen kapcsolata jellemzi. A sekélyvízü képződés, az igen változó feltételek között végbement üledék-lerakódás következtében a rétegek közt vízzáró, hidrodinamikai gátat jelentő különülések nem jöttek létre. A tároló-tulajdonságok a növekvő mélységgel romlanak.

A Felső-pannonnál idősebb, helyi jelentőségű tárolók, mint például a medence aljzati, igen idős metamorf mezozoós karbonátos és törmelékes illetve idősebb harmadidőszaki képződményei, ahol a kőzetek repedezettek, mállottak vagy valamelyik ópaleozoós és tektonikai övek mentén fellazultak, jelentős fluidum tárolására alkalmas hézagterfoggal rendelkeznek. Ezen tároló típust változatos geológiai környezet, kisebb ismertség (leginkább az aljzati magaslatokon feltárt) mellett a kettős porozitás, a szénhidrogén "szennyezettség" valamint a vizek jelentős sótartalma jellemzi.

2. Főbb rétegkárosodási okok és formák

A mezozoikum repedezett, hasadozott tárolóinak rétegvizei jelentős sótartalommal rendelkeznek, ebből következően az ilyen tárolókba mélyült kutak esetén az egyik legnagyobb kihívás a vízkőkiválás megakadályozása illetve a vízkövesedés kezelése.

A célszerűen alkalmazott technológia vagyis, hogy milyen kiválást gátló módszert alkalmaz a hasznosító, kihat az egész rendszer műszaki-technológiai paraméterezésére, így módon determinálja a felszíni rendszer kialakítását, üzemelési viszonyait és végső soron kihat a fűtőmű vagy erőmű hatékonyságára így a termelt energia mennyiségére. Mindez kiemelkedő fontosságú, méltatlanul elhanyagolt területe a geotermikus energia hasznosításának. Az alkalmazható technológiák a geotermikus rendszer függvényei, melyet célszerű a létesítés előtt megtalálni és jó esetben tesztelni. Működő rendszerek problémáinak utólagos, optimális megoldására, meglehetősen korlátozottak a lehetőségek.

A vízkő kiválása az oldott sótartalom, a nyomás és a hőmérséklet függvényében meghatározott "szakaszon" kezdődik meg a geotermikus rendszerben, általában a kútfőjén és környezetében a legjelentősebb és folytatódhat a kúttól nagy távolságban a fűtőrendszeren belül is [1]. A vízkő-képződés jellemző okai, a nyomás változása, a hőmérséklet változása, a szennyezettség és vegyszerek jelenléte, az áramlási sebesség megváltozása, a pH változása, a folyadék expanziója, a gáz evaporációja illetve keveredés nem-kompatibilis folyadékkal, amelyek mind önmagukban, mind egymással valamilyen kapcsolódásban kiváltó tényezők lehetnek.

A vízkő képződése nem csak a kutakban és a felszíni rendszerben jelentkezhet, hanem a kőzetben is megjelenhet, így módon csökkentve a kút kapacitását. A kút kapacitás csökkenésében azonban nem csak a vízkőképződés vesz részt hanem a kút fűrése illetve kiképzése során végzett műveletek fizikai kémiai hatásai is. Ezek a hatások azonban nem korlátozódnak a fűrélyük felületére, hanem behatolnak a kútkörnyéki zóna bizonyos mélységéig, megváltoztatva az eredeti áteresztő-képesség viszonyokat. A károsodott zóna nagyobb áramlási ellenállással bír mint az érintetlen (eredeti) kőzet, ez az áramlási ellenállás nyomásvesztésként jelenik meg a kútba történő folyadékáramlás során, vagyis ugyanazon hozam eléréséhez nagyobb depresszióra lesz szükség a termeltetés során. Ezt a károsodás hatására jelentkező nyomásváltozás az ún. szkin tényezővel szokás jellemezni.

A szkin összetett mutató, mivel több tényező (kútkiképzési szkin, perforációs szkin, károsítási szkin, a turbulenciából származó szkin) együttes hatását jeleníti meg. A kútkiképzési szkin és a perforációs szkin rétegkezeléssel csekély mértékben befolyásolható, a károsítási szkin viszont eredményesen megszüntethető. A kútkiképzési szkin attól függ, hogy a kút függőleges vagy ferde, valamint a kút és a megnyitás a tároló hányad részét érinti és hol helyezkedik el. A perforációs szkin a perforációs csatornák számától, hosszától, geometriájától és tisztaságától függ. A károsítási szkin lényegében a kútkörnyéki zóna áteresztőképességének romlását jelzi. A romlást fizikai és kémiai hatások egyaránt okozhatják. A teljes szkin értelmezése, az egyes összetevők szerepének, mértékének meghatározása különösen fontos, mivel anélkül, csak a magas szkinre alapozott rétegkezelés eredménytelen lesz.

A kutak károsodását rendszerint több tényező együttes hatása okozza. Emiatt a rétegkezelésre való felkészülést – amellyel, hogy mind a kút fűrése, mind a kút kiképzése során, a biztonsági, egészség- és környezetvédelmi szempontok mellett, kiemelt fontosságú kell legyen a folyamatos tárolóvédelem, azaz az eredeti kőzetjellemzők lehető leghatékonyabb megőrzése – már a kút fűrésekor meg kell kezdeni a kőzetmagok, a furadék, az alkalmazott fűrési folyadék vizsgálatával, majd folytatni a kiképzés során alkalmazásra kerülő műveletek, folyadékok, kútszerkezet, rétegmegnyitási mód elemzésével, valamint a termelési múlt feldolgozásával [2].

Az optimális rétegkezelési technológia meghatározásához és kiválasztásához elengedhetetlen a károsítást előidéző folyamatok azonosítása és az okok feltárása, amelyek közül a leggyakrabban előfordulók az alábbiak:

1. Fúrási folyadék (fúróiszap) filtrátumának, szilárd szemcséinek inváziója
2. Cementtej filtrátumának, szilárd szemcséinek inváziója
3. Rossz cementpalást minőség és tapadás
4. Kútmunkálati folyadék filtrátumának, szilárd szemcséinek inváziója:
5. Kőzettel, rétegfluidummal nem összeférhető folyadék, vegyszer besajtolása
6. Menetzsír, rozsa, reve rétegbe vagy perforációba jutása
7. Természetes agyagok rétegbe jutása miatti dugulás
8. Vízkő képződése a rétegben és/vagy perforációkban
9. Emulzióképződés
10. Olyan folyadékok besajtolása, amelyek szilárd szennyező anyagokat tartalmaznak, csapadékot, emulziót képeznek, finomszemcsés migrációt indukálnak, olajnedvessé változtatják a kőzetet, a kőzetváz összeomlását okozzák
11. Bakteriális szennyeződés
12. Nem megfelelő perforáció: mérete, száma, behatolási mélysége
13. Perforációs csatorna összeomlása és a kőzet mátrix kompaktciója
14. Rétegnomás csökkenése
15. Túlzott depresszió alkalmazása
16. Víz termelése olaj- vagy gázkútban, ill. olaj termelése gáz- vagy vízkútban
17. Buborék pont alatti termelés (2 vagy 3 fázis áramlik)
18. Homokolás miatti feltöltődés
19. Hidraulikus rétegrepesztés okozta károsítások: pl.: a repedések dugulása gélből, szennyeződésektől túlzott koncentrációban alkalmazott kiszűrődésgátlóktól, alacsony vezetőképességű támaszték (proppant) alkalmazása, nem megfelelő szilárdságú támaszték összeroppanása következtében, repedés bezáródása a támaszték kitermelése miatt, nem kívánatos zónába történő berepesztés (pl. olajkútnál gáz vagy víz).

Nincs olyan kútművelet, amelyre azt lehetne mondani, hogy biztosan nincs károsító hatása. Bármilyen folyadék kútba juttatása csökkentheti a kút kapacitását. Emiatt a károsodás felméréséhez, azonosításához a kútat és annak előéletét minden szempontból vizsgálni kell. A különféle károsítási folyamatok rendszerint összemosódott, egymást különböző mértékben lefedő és módosító formában jelennek meg. Ennek megfelelően a főbb réteggárosítási formák: a szilárd anyagok okozta dugulás, a folyadék-, vagy emulzióblokk képződés, a megváltozott nedvesítési viszonyok, valamint a víz-, gáz-, vagy olajbetörés(kút termelési céljától függően).

3. A réteggárosítás megszüntetésére irányuló rétegkezelések

A réteggárosítások megszüntetését célzó eljárásokat rétegkezelésnek nevezzük. A rétegkezelések több mint 100 éves múlttal rendelkeznek, mivel azonban, az alkalmazott technológiák fejlődésének következtében, a réteggárosító okok is változnak, a rétegkezelési módszerek fejlesztése is folyamatos.

A rétegkezelési eljárások célja a kútkörnyéki zóna eredeti áteresztőképességének helyreállítása, növelése, stabilizálása, vagy adott esetben annak egyes részeiben csökkentése a gazdaságos, illetve az optimális fluidum beáramlás, valamint a művelési, vagy technológiai célú víz- és gázbesajtolás biztosítása érdekében. Az alkalmazásra kerülő rétegkezelési technológia és technika, a kezelőfolyadékok típusa, összetétele és mennyisége függ:

- a tároló ásványi, közetfizikai, rezervoár-mechanikai és hidrodinamikai jellemzőitől,
- a hőmérsékleti és nyomás viszonyoktól,
- a rétegfluidumok tulajdonságaitól,
- a károsítások típusától, jellegétől és mértékétől,
- az adott kútszerkezettől,
- valamint az alkalmazott rétegmegnyitási módtól.

Ezen tényezők mindegyike alapvetően befolyásolja a rétegkezelés eredményességét. Ennek megfelelően tehát, a rendkívül széles körű réteggárosítást okozó tényezőkön túl, az alkalmazott rétegkezelési eljárást a szintén változatos alkalmazási környezethez is illeszteni kell. Emiatt elengedhetetlen a körültekintő, gondos előkészítés, tervezés és kivitelezés.

A rétegkezelési eljárások illesztésének fontos részét képezik bizonyos speciális vizsgálatok, melyek révén kiválasztható a megfelelő és célszerű technológia és optimalizálható a kezelőfolyadékok összetétele és térfogata valamint beszivattyúzási sebessége. A vizsgálatokhoz kőzetmagokra van szükség, amelyek megvételt (magfűrés) célszerű betervezni, hiszen elmaradásuk csak csekély költségmegtakarítást eredményez, viszont a csak feltételezésen alapuló rétegkezelés a kút "sorsát", további hasznosíthatóságát kérdőjelezheti meg.

A rétegtkárosítást okozó anyagok és kőzetanyagok, valamint az eltérő réteg-hőmérsékleti viszonyok nem teszik lehetővé egyetlen univerzális kezelőfolyadék alkalmazását, így nyilvánvalóan többféle savra van szükség a rétegkezelések elvégzéséhez. A leggyakrabban a sósav használatos, bár a magas hőmérsékleten a nagy reakció sebessége és a korróziós hatása miatt, ilyen esetekben inkább szerves savakat és kelátképzőket alkalmaznak.

Az agresszivitás, a reakciók szabályozása és a reakciótermékek kútból, illetve tárolóból való hatékony eltávolítása megkívánja több, különféle adalékanyag alkalmazását, így például a *korróziós inhibitorok* megvédik a fémszerelvényeket (termelőcső, béléscső), a *felületaktív anyagok* elősegítik a károsító anyagok feloldását, eltávolítását, a *vaskicsapódás gátlók* megakadályozzák a rozsdából, revéből vagy a kőzet vas tartalmából származó géles vaskicsapódását, az *agyag- és finomszemcse stabilizálók* hosszútávon megakadályozzák agyagok duzzadását, diszpergálódását és a pórusokban lazán kötődő finom szemcsék mobilizációját.

A célszerű és hatékony rétegkezelési mód, az alkalmazásra kerülő technológia és folyadékok meghatározása, kiválasztása mint már a fentebbiekben bemutatásra került, nagyszámú tényezőtől függ. Mindemellett vannak olyan főbb vonások, amelyek alapján az rétegkezelési műveletek, a nagy változatosság ellenére, csoportosíthatók. Megkülönböztethetjük a kezeléseket a tárolókőzetbe való mélységi behatolásuk alapján, így beszélünk iszaplepleny eltávolításról (géltörés), perforáció-tisztításról, homokszűrő és szűrőhomok tisztításról, mátrix-kezelésről illetve rétegrepesztésről. Terjedelmi korlátok miatt e főbb típusok közül a geotermikus kutak esetén leginkább érdekes mátrix-kezeléseket részletezzük, melyek alapvetően két kőzettípusra (homokkővek, karbonátok) alakultak ki.

A homokkő tárolók esetében a savas rétegkezelés a kútkörnyéki áramlási ellenállás, illetve rétegtkárosítás eltávolítására irányul, célja az eredeti állapot helyreállítása. A rétegtkárosodást jellemzően a fűrés és kútkiképzési műveletek, finom szemcsés migráció, agyagduzzadás vagy polimer károsítás okozza. Egy tipikus homokkő savazás három, egymást követő folyadéklépcsőből áll.

- *Előmosás sósavval vagy szerves savval* a rétegvíz és a karbonátok eltávolítására.
- *Fő kezelés sósav - fluorsav vagy szerves sav – fluorsav keverékével.*
- *Utánmosás* a kifáradt sav és a reakciótermékek eltávolítására és a nedvesítési viszonyok helyreállítására.

A sósav szerepe, amennyiben azt fluorsavas rendszer követi, különösen fontos abban is, hogy ioncserével mindegy előkészíti az ásványokat a fluorsav-reakcióra és ezáltal csökkenti a fluorszilikát csapadékok képződését, eltávolítja a karbonátokat és ezzel megakadályozza a kalcium-fluorid csapadék képződését, továbbá nem engedi a rétegbe jutott kálium-, nátrium- vagy kalcium sókat tartalmazó kútmunkálati folyadékkal való érintkezést, ami szintén súlyos károsítások forrása lehet. A sósav azonban, a hőmérséklettől és ásványtípustól függően, önmaga is olyan mértékű rétegtkárosítást okozhat, hogy bizonyos esetekben nem engedhető meg a használata. Az alkalmazandó savtípus meghatározásában segít többek között a kőzet instabilitási vizsgálata.

Míg a homokkővek esetében a mátrix-savazás a károsítás, a károsító anyagok eltávolítására irányul, addig a karbonát tárolók esetében a cél a kőzetanyag feloldása, oly módon, hogy az oldás során olyan jó vezetőképességű áramlási csatornák (féreglyukak) alakuljanak ki, amelyek mintegy áthidalják a károsított zónát, megnövelve az effektív kútsugarat és az áteresztőképességet. Tehát a karbonátok esetében a rétegkezelés szó szerint jelenti a réteg kezelését.

Az alkalmazott kezelés savreakciói sokkal egyszerűbbek és nem társulnak csapadékképződéssel járó másodlagos, harmadlagos folyamatokkal. A képződő reakciótermékek, például a sósav esetén kalcium-klorid, magnézium-klorid és szén-dioxid, melyek vízben jól oldódnak, elkülönülésükre általában nem kell számítani. A kezeléseket a behatolási mélység szerint szokás kategorizálni, úgy mint *kútkörnyéki zóna savazása, mátrix savazás, kiterjesztett mátrix savazás.*

A féregjárat szerkezete összefügg a savazás hatékonyságával és megjeleníthető a kőzetmagon való átjutáshoz szükséges pórustérfogatnyi savmennyiség és az áramlási sebesség viszonyában.



1. ábra. A szivattyúzási ütem hatása a főreglyuk szerkezetére [3] nyomán

A túl alacsony áramlási sebesség kis mélységű, felületi oldást eredményez, amely a legkevésbé hatékony savazási művelet. A sebességet növelve a behatolási mélység nő és nagy átmérőjű, kúpos árat alakul ki. Ez követően, elérve az optimális értéket, nagy behatolású és vezetőképességű csatornák képződnek. Túlzott áramlási sebesség azonban már szintén rontja a rétegkezelés hatékonyságát és bár nagyobb mélységű, de szintén felületi oldás játszódik le, hasonlóan a túl alacsony sebességhez (1. ábra). Magas hőmérsékletű tárolók esetében a rendkívül gyors reakció miatt még a sav viszkozitásának megnövelése esetén is problémás az optimális áramlási sebesség elérése. Emiatt az utóbbi években a figyelem a lassú reakciójú kelátképzőkre irányult. A kelátképzők alacsony korrozivitásúak, szabályozható a pH-juk, a hőmérséklet által csak kis mértékben befolyásolt a reakció sebességük. Viszonylag magas költségük ellenére, vonzó megoldást jelenthetnek, mind a közepes, mind a magas hőmérsékletű rétegkezelések esetén [4].

4. Összefoglalás

A rétegkezelés nem szokásos eleme a geotermikus kutak műveleteinek. A geotermikus kutakban alkalmazható rétegkezelések sokban hasonlítanak az olajiparban használt kezelésekhez. Az egyik lényeges különbség oka, hogy geotermikus esetben a hőmérsékletek általában magasabbak. A magas hőmérséklet csökkenti a korróziógátlók hatékonyságát, valamint növeli a sav és a kőzet közötti reakciósebességet. A gyors sav-kőzet reakció késleltetett savas rendszerek használatát igényli, amelyek biztosítják, hogy a sav nem csak a fúróluk közvetlen környezetében reagál, hanem mélyebbre hatol a rétegekben. A másik jellemző különbség, hogy a geotermikus kutakban rendszerint nincs termelőcső, így a béléscső közvetlenül van kitéve hatásoknak. A béléscső korróziós védelmének érdekében fontos az alkalmazni kívánt savak és a korróziós inhibitorok gondos kiválasztása, ha szükséges nagy mennyiségű hűtőfolyadék (víz, sósvíz) beszivattyúzása, mindezek azonban növelik a rendszer fizikai igénybevételeit, így erősebb, jobb minőségű és drágább csövekre lehet szükség.

Köszönet nyilváníás

E tanulmány alapjául szolgáló kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ keretében valósult meg.

Irodalom:

1. PATZAY GY., KÁRMÁN F. H., PÓTA, G. 2003: Preliminary Investigation of Scaling and Corrosion in High-enthalpy Geothermal Wells in Hungary, *Geothermics*, 32, 627-638
2. KOSZTIN B., UDVARI F., TORONYI ZNÉ., DORMÁN J., DRÁVUCZ I. 1999: Technológiai utasítás a rétegkezelési műveletek tervezésére, kivitelezésére és ellenőrzésére, 106.p.
3. SHELL 1999: Stimulation Field Guidelines, Part III, *Carbonate Stimulation*, 95.p.
4. SCHLUMBERGER 2009: Options for high-temperature well stimulation, *Letöltési hely: http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/ors08/win08/options_for_high_temperature_well_stimulation.ashx*